

УДК 631.3.004:621.797

Бондарева Г. И., Орлов Б. Н.

ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КАК АСПЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЮ

В последние годы из-за нерациональных способов обработки почвы повсеместно наблюдается разрушение пашни. Развитие эрозионных процессов на Земле разорвало установившуюся в процессе длительного эволюционного развития экологическую систему и нарушило круговорот питательных веществ в биосфере. Эрозия почв ухудшила экологические условия сельского хозяйства. Начала проявляться «цепная реакция»: развивающиеся эрозионные процессы усилили отчуждение органических веществ и гумуса из биологического круговорота, а уменьшение содержания в почве органических веществ и гумуса понизили её противозерозионную устойчивость [1].

Индустриализация сельского хозяйства и его переход на промышленную основу усилили воздействие человека на природу. С появлением тяжелых тракторов появилась возможность проведения обработок почвы на большую глубину. Этому способствует появление новых плугов, приспособленных для обработки почвы на глубину до 40 см и более. Глубокая обработка почвы приводит к ее распылению, потере структуры, быстрой минерализации органического вещества в мощном слое почвы.

Анализируя состав машинно-тракторного парка тяжелее 2,5 тонн, на сегодняшний день имеем более 2-х миллионов единиц. Если сложить вместе следы всех машин и гусениц, то общая ширина такого следа достигнет 1653 километра – расстояние от С. Петербурга до Одессы. Примем, что тракторы работают на поле 400 мото-часов в год со средней скоростью 4 км/час. Вот и получается, что площадь, покрываемая следами ходовых систем, составит 264,5 миллиона гектаров. Это на 38,5 миллиона гектаров превышает всю пахотную землю нашей страны.

В технической литературе появился термин «машинная деградация почвы» (МДП). Так наречен комплекс вредных последствий массированного воздействия ходовых систем и рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Сюда входят также переуплотнение и истребление почвенных микроорганизмов, нарушение структур, снос перелотной земли водой и ветром. Только из-за переуплотнения, по мнению академика ВАСХНИЛ В. Куйбышева, урожай зерновых снижается на 20%. По данным исследований ряда институтов бесполезно расходуется до 40% минеральных удобрений и 18% горючего [2, 6].

Основная часть механической обработки почвы – создание наиболее благоприятных условий для роста и развития культурных растений и повышение ее плодородия. В любом технологическом процессе механической обработки, как указывал В. П. Горячкин, необходимо участие трех элементов: энергии, рабочего органа и объекта обработки – материала. В процессе механической обработки почвы рабочий орган машины или орудия (корпус плуга, диск или зуб бороны, лапа культиватора и т. п.), получая энергию от трактора или другого источника, воздействует на почву, в результате чего изменяет ее свойства и состояние.

Во время работы большинство деталей сельскохозяйственных машин подвергается динамическим нагрузкам, абразивному износу и химическому воздействию внешней среды. Интенсивный износ деталей сельскохозяйственных машин, помимо затрат средств на их ремонт и изготовление запасных частей, вызывает большие простои в ремонте. Поэтому повышение долговечности машин является одной из актуальных проблем технического прогресса. Вопросы повышения долговечности неразрывно связаны с изучением зако-

номерностей изнашивания деталей в условиях эксплуатации и разработкой основ расчета деталей и машин на долговечность [3].

Процесс износа рабочих органов почвообрабатывающих машин протекает при непрерывном взаимодействии металла с почвой. Интенсивность и характер износа металла зависят от природы и свойств почвы, а также от условий взаимодействия с ней рабочих органов.

В качестве основных факторов, определяющих износ рабочих органов почвообрабатывающих машин, выделяются механический состав, влажность, плотность и однородность почвы, скорость движения и форма рабочих органов, а также свойства материалов, из которых они изготовлены. Факторы, относящиеся к свойствам почвы, являются переменными. В различных почвенно-климатических условиях влияние указанных факторов может существенно различаться и соответственно износостойкость одних и тех же материалов на разных участках почвы при равных условиях не будет одинаковой.

Чтобы установить виды и интенсивность износа рабочих органов в различных почвенных условиях, необходимо провести наблюдения за их износом в процессе эксплуатации. Наиболее целесообразно в данном случае проводить выборочные наблюдения за износом типичных рабочих органов [4].

Объектом исследований могут быть рабочие органы плугов, культиваторов, фрезерных машин, лутильников, борон и т. д.

Механический состав и состояние почвы влияют не только на интенсивность износа, но и на его характер. Особенно это видно на примере износа лемехов, лап культиваторов и дисковых борон. На тяжелых супесчаных и глинистых почвах лезвие и полевой обрез лемеха затупляются и принимают овальную форму. На песчаных и супесчаных почвах он изнашивается достаточно интенсивно как по толщине, так и по ширине. Лезвие при этом сохраняет свою остроту, но на тыльной стороне его создается резко выраженная затылочная фаска, на лицевой – глубокая лучевидная канавка; носок по профилю закругляется. В.П.Горячкин, износ лицевой поверхности лемеха и отвала с образованием сквозного протирания в верхней части носка и груди объяснял возникновением в этих местах больших давлений [5].

Другие исследователи объясняют те, что подрезаемый слой почвы значительную часть пути скольжения не деформируется и сохраняет свою форму. При этом опирается нижней гранью на рабочую поверхность и в местах контактирования создает высокие давления. Плужные лемехи обычно устанавливают по отношению к дну борозды под углом около 30 градусов по передней грани и по отношению к оси движения плуга под углом 40 градусов. Установка лемехов в большой степени предопределяет характер процесса износа, а также является причиной повышения нагрузки, приходящейся на носовую часть лемеха, картина нарастания линейного износа новых лемехов, для почв пяти различных типов свидетельствует о разной интенсивности процесса износа [6].

Отвалы тракторных плугов при вспашке различных почв имеют сквозное протирание груди, и изнашивания нижней части крыла. С увеличением скорости движения износ отвала по толщине происходит по-разному в различных направлениях. В отличие от вспашки культивация представляет собой процесс обработки более рыхлой почвы, и это оказывает влияние на характер износа лап культиватора. Из наблюдений видно, что наибольшая интенсивность износа характера для носка лапы, по мере удаления от носка интенсивности

Бондарева Галина Ивановна, д. т. н., зам. директора по инвестициям и общим вопросам Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова».

РФ, 127550, г. Москва, ул. Академическая Б., 44/2.

Орлов Борис Намсынович, д. т. н., профессор кафедры технической эксплуатации технологических машин и оборудования природообустройства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева».

РФ, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология

износа режущей кромки лапы снижается [7, 8].

Определим долговечность лемеха тракторного плуга при вспашке почвы.

Долговечность деталей выражается как:

$$T = \frac{k_v}{k \cdot E \cdot m} \cdot \frac{h_0 \cdot (n+1) \cdot H}{P \cdot v_n},$$

где k_v – величина, обратная коэффициенту перехода от поступательной скорости к относительной скорости перемещения абразивной среды по ее рабочей поверхности.

Для трехгранных клиньев:

$$k_v = \frac{1}{\cos \gamma \sqrt{\cos^2 (E \cdot \psi) \cdot \frac{\tan^2 \gamma}{\cos^2 \psi} + \left(\frac{f_1}{f + f_2} \right)^2}}. \quad (1)$$

Для двугранных клиньев

$$k_v = \frac{\cos^2 \psi}{\cos (\alpha + \psi)}, \quad (2)$$

где α – угол наклона рабочей поверхности детали к горизонту;

ψ – угол отклонения абсолютной траектории перемещения частиц почвы от нормали к рабочей поверхности клина,

$$\psi = \arctg \left(\frac{f}{f + f_1} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right), \quad (3)$$

где f – коэффициент трения почвенных частиц по изнашиваемой поверхности детали;

f_1 – коэффициент трения почвенных частиц между собой;

k – коэффициент пропорциональности для лемеха = 0,02
для отвала = 0,01 – 0,012
для культиватора = 0,02;

E – относительный износ материала;

m – коэффициент изнашивающей способности

$$\frac{1}{m} = d_1 \frac{1}{m_1} + d_2 \frac{1}{m_2} + \dots + d_n \frac{1}{m_n}, \quad (4)$$

где m_1, m_2, m_n – коэффициент изнашивающей способности фракций;

d_1, d_2, d_3 – доли номинального объема фракционных составляющих

$$m_1 = \frac{k}{k_1};$$

$$m_2 = \frac{k}{k_2};$$

k, k_1, k_2 – коэффициенты пропорциональности;

h_0 – предельно допустимый износ до ремонта;

n – количество ремонтных воздействий за полный срок службы детали до выработки;

H – твердость металла;

v_n – поступательная скорость движения детали;

P – удельное давление абразива

$$P = C \cdot a_n,$$

C – коэффициент, учитывающий плотность грунта и углы установки рабочих органов;

a – глубина обработки почвы;

n – показатель степени.

Долговечность, выраженная в гектарах обработанной площади на один рабочий орган, будет равна:

$$F_0 = \frac{k_v}{k \cdot E \cdot m} \cdot \frac{h_0 (n+1) \cdot H \cdot B}{P},$$

где B – ширина захвата рабочего органа.

Определим долговечность лемеха тракторного плуга при вспашке почвы следующего состава: частицы почвы диаметром 0,45–0,55 мм – 12%; 0,25–0,30 мм – 17%; 0,16–0,25 мм – 15% и глина – 56%; глубина вспашки $a = 22$ см; скорость движения плуга $v_n = 5$ км/час.

По формуле (4) находим коэффициенты изнашивающей способности данной почвы

$$\frac{1}{m} = 0.12 \frac{1}{1.62} + 0.17 \frac{1}{0.48} + 0.15 \frac{1}{0.54} + 0.56 \frac{1}{0.28} = 2.784;$$

$$m = \frac{1}{2.784} = 0.36.$$

Коэффициент может быть подсчитан по формулам для двугранного клинка в двух вариантах:

1 – изнашивается режущая кромка

$$k_v = \frac{\cos \psi}{\cos (\alpha + \psi)}; \quad \psi = \arctg \left(\frac{f}{f + f_1} \operatorname{ctg} \alpha \right)$$

при $\alpha = 42^\circ$; $f = 0.8$; $f_1 = 1.2$; $\psi = 25$; $k_v = 2.3$;

2 – изнашивается режущая грань

$$\alpha = \beta + \delta = 60^\circ; \quad \psi = 13; \quad k_v = 3.3,$$

т. е. скорость относительного скольжения частиц почвы на режущей кромке в 1,7 раза будет больше, чем на режущей грани.

Давление почвы на режущей части лемеха по формуле (5):

$$P = 1.7 \cdot 0.0067 \cdot 22^{1.22} = 0.53 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Принимая $h_0 = 0.75$ см; $n = 5$; $E = 1$; $H = 550$ кг/мм²;

$k = 0.02$, определим полный срок службы лемеха до его выбраковки:

$$T = \frac{k_v}{k \cdot E \cdot m} \cdot \frac{h_0 (n+1) \cdot H}{P \cdot v_n} = \frac{2.3 \cdot 0.75 \cdot (5+1) \cdot 55}{0.02 \cdot 1 \cdot 0.36 \cdot 0.53 \cdot 600} = 2364$$

при $B = 0.35$ м

$$F_0 = \frac{236 \cdot 0.35 \cdot 6}{10} = 49 \text{ га}.$$

Определим долговечность отвала для тех же условий, как и при расчетах долговечности лемеха.

Твердость наружных слоев отвала $H_1 = 500$ кг/мм² внутреннего слоя $H = 230$ кг/мм².

Толщина наружных твердых слоев $h_{01} = 3.5$ мм; внутреннего

$h_{02} = 3.5$ мм.

В местах наибольшего износа угол $E = 70^\circ$; $\gamma = 42^\circ$.

Коэффициент k_v вычислим по формуле для трехгранного клина (1):

$$\psi = \arctg \left(\frac{f}{f + f_1} \operatorname{ctg} E \right) = \arctg (0.4 \cdot 0.364) = 14^\circ.$$

Следовательно,

$$k_v = \frac{1}{0.74 \cdot \sqrt{0.55 \cdot 0.81 / 0.82 + 0.36}} = 1.58.$$

Давление почвы в местах наибольшего износа

$$P = 1.7 \cdot 0.0014 \cdot 22^{1.22} = 0.105 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Коэффициент для отвала находится в пределах 0,01–0,012. Время до полного износа твердых и мягких слоев, для которых коэффициенты относительной износостойкости $E_1 = 1,23$; $E_2 = 1,8$, будет:

$$t_1 = \frac{k_v}{k \cdot E \cdot m} \cdot \frac{h_p H}{P \cdot v_n} = \frac{1.58 \cdot 0.35 \cdot 5}{0.01 \cdot 1.23 \cdot 0.36 \cdot 0.105 \cdot 60} = 100 \text{ час},$$

$$t_2 = \frac{1.58 \cdot 0.36 \cdot 2.3}{0.01 \cdot 1.8 \cdot 0.36 \cdot 0.105 \cdot 60} = 48 \text{ час}.$$

Поскольку $t = t_1 + t_2$, то с учетом ремонта изношенных отвалов:

$$T = 1.5t = 222 \text{ час},$$

$$F_p = 222 \cdot 6 \cdot 0.35 / 10 = 46.5 \text{ га}.$$

Рассмотрев расчеты на долговечность рабочих органов при совокупном влиянии различных факторов, следует отметить, что интенсивность износа зависит от содержания в почве абразивных (кварцевых) частиц размером более 0,1 мм и от плотности почв [9, 10].

Изменение интенсивности износа различных рабочих органов имеет некоторые общие закономерности. В начальный период нарастания линейного износа постепенно замедляется и наступает период стабилизированного износа. Замедление износа в начальный период объясняется непрерывным изменением формы лезвия. Изменения контура рабочих органов в результате износа происходит преимущественно за счет истирания выступающих частей. Конфигурация лезвий в сечении в основном зависит от механического состава и плотности почв. Для большинства применяющихся в сельском хозяйстве рабочих органов с повышением в почве содержания физической глины (с размером частиц менее 0,01 мм) затупление режущей кромки лезвия ускоряется. При работе на легких песчаных и супесчаных почвах режущая кромка лезвия остается более работоспособной, хотя интенсивность линейного износа лезвия может быть довольно высокой [11].

Заключение. Исследования показали, что интенсивность износа рабочих органов настолько велика, что в отдельных случаях необходимость в ремонте возникает через 2–3 часа работы лемеха или лапы культиватора. При обработке твердых почв с каменистыми включениями наблюдается значительная деформация режущей кромки, усталостные выщербины. Все это свидетельствует о тяжелых условиях работы металла при воздействии с почвой. Поэтому для правильного выбора износостойких материалов необходимо экспериментально исследовать закономерности процесса износа в условиях близких к реальным и изучать механизм абразивного износа и экологические аспекты индустриализации сельского хозяйства.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макаров, В. В. Охрана земель : учебное пособие / В. В. Макаров, Н. В. Михеев, В. А. Галкина, В. А. Назаренко, В. Н. Полякова, Т. В. Мельник, Е. Н. Лунова // Министерство сельского хозяйства РФ; Новочеркасская государственная мелиоративная академия. – Новочеркасск, 2001.
2. Бондарчук, А. В. К вопросу машинной деградации почв / А. В. Бондарчук, Р. С. Бондарчук, А. М. Рыжук // Инновации молодых – развитию сельского хозяйства материалы 54 межвузов-

- ской научной студенческой конференции; Приморская государственная сельскохозяйственная академия. – 2018. – С. 129–132.
3. Леонов, О. А. Влияние погрешности средств измерений на потери при ремонте сельхозтехники / О. А. Леонов, Г. И. Бондарева, Н. Ж. Шкаруба // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 11. – С. 27–29.
4. Бондарева, Г. И. Основы надежности технических систем : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 150200 "Машиностроительные технологии и оборудование", специальности 150207 "Реновация средств и объектов материального производства в машиностроении" / Г. И. Бондарева, А. П. Шнырев ; М-во сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Московский гос. агроинженерный ун-т им. В. П. Горячкина", каф. "Метрология, стандартизация и упр. качеством". – Москва, 2008.
5. Бондарева, Г. И. Герметизация неподвижных фланцевых соединений силиконовыми герметиками при ремонте сельскохозяйственной техники : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2000.
6. Бондарева, Г. И. Обоснование объема информации для проведения экспериментальных исследований рабочих элементов машин и оборудования / Г. И. Бондарева, Б. Н. Орлов // Природобустройство. – 2012. – № 3. – С. 105–108.
7. Силицын, С. С. Аналитическая оценка машинной деградации почвы / С. С. Силицын, Т. С. Силицына // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – № 21–3. – С. 220–222.
8. Кравченко, И. Н. Основы надежности машин / И. Н. Кравченко, В. А. Зорин, Е. А. Пучин, Г. И. Бондарева – Москва, 2007. – Часть 1.
9. Пучин, Е. А. Дипломное проектирование по специальности "технология обслуживания и ремонта машин : учебник для студентов вузов по специальности «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе» / Е. А. Пучин, Н. А. Выскребенцев, Г. И. Бондарева, Р. М. Гатауллин, И. Н. Кравченко, В. М. Корнеев, А. В. Чепурин, В. Ю. Гладков, А. А. Шульпина, Ю. А. Батов, Н. В. Корнеев. – Москва, 2007.
10. Бондарева, Г. И. Математическое моделирование процесса изменения годности рабочих элементов машин и оборудования / Г. И. Бондарева, Б. Н. Орлов // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 8. – С. 36–38.
11. Степанова, О. П. Влияние механической обработки на агрохимические свойства почвы // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – № 21-1. – С. 181–184.

Материал поступил в редакцию 08.04.2019

BONDAREVA G. I., ORLOV B. N. Industrialization of agriculture as aspect of impact on ecology

Soil cultivation is an essential element of any farming system in various soil and climatic zones. The correct treatment has a positive effect on the structure of the arable layer, on the change of agrophysical properties, its water, air and thermal regimes, changes the direction of biological and biochemical processes, contributes to the destruction of weeds, pests and pathogens. Violations of the tillage technology leads to over-compaction and its spraying, the emergence of water and wind erosion.

УДК [502.057+581.5]:546.81

Позднякова А. И., Герменчук М. Г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА ПОЧВ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

Введение. Строительство атомной станции было обусловлено такими ее достоинствами, как независимость от внешних источников топлива и относительная экологическая чистота. Тем не менее, она станет серьезной нагрузкой и окажет воздействие на все компоненты окружающей среды: почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир. Из них наиболее

важным компонентом являются почвы, потому что именно они представляют собой своеобразный буфер для загрязнителей [1], как радиационной, так и нерадиационной природы, и неизбежно оказываются составляющей в любой цепочке поступления загрязняющих веществ в организм человека.

Позднякова Анастасия Игоревна, аспирант учреждения образования Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, e-mail : anastacia.pazdniakova@gmail.com.

Беларусь, г. Минск, Долгобродская, 23/1.

Герменчук Мария Григорьевна, к. т. н., доцент, заведующий отделом Научно-технического центра по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, e-mail : targetten@gmail.com.

Беларусь, 220030, г. Минск, ул. Берсона, 16.